

## 低天端型防波護岸の越波に関する一実験

Experiments on Wave Overtopping Characteristics of Low Crested Seawalls

高橋重雄\*、鈴木高二朗\*、三浦裕信\*、斉藤祐一\*

Shigeo TAKAHASHI, Kojiro SUZUKI, Hironobu MIURA, and Yuichi SAITO

A series of model experiments were conducted to investigate wave overtopping characteristics of several types of low crested seawalls. Tested seawalls are those covered with wave dissipating concrete blocks, those with slit caissons, and their combinations. The combination type is found to be very effective to reduce wave overtopping. A slit caisson type seawall with a high rubble mound is also tested, which is economical and suitable for seawalls in a bay with a large tidal range. Its wave overtopping is also found to be very low.

**Keywords:** Wave overtopping, Seawalls, Low-crest seawalls, High mound breakwaters

## 1. まえがき

近年、沖合人工島や空港用埋立地などでは、比較的波浪の厳しい水深の大きな海域でも防波堤を置かず、直接護岸を設けることが多くなっている。こうした防波護岸の越波流量は大きく、設計上の問題となっているが、適切な天端高さをとることによって対処することは可能である。

しかしながら、空港用の護岸等では埋立地の地盤高さの関係で天端を高くできない場合も多い。また通常の埋立地であっても、市民の利用の観点から天端を低くする必要も少なくない。したがって、これまでいくつかの低天端型防波護岸の構造が考えられ、実際に建設されている。たとえば、合田・岸良<sup>2)</sup>、高山ら<sup>3)</sup>、谷本ら<sup>4)</sup>は、直立壁に比して、消波ブロック被覆堤や直立消波ケーソンが越波流量が少ないことだけでなく、消波ブロックの幅を広くしたり、離岸堤のようにブロックを離すことによって低天端化がはかれることを示している。また、パラペットを後退させることが有効であることも指摘しており、具体的な天端高さの算定法も示している。

本研究は、こうした低天端護岸を含め、いくつかの新しい低天端型防波構造についてその越波特性を実験的に検討したものである。

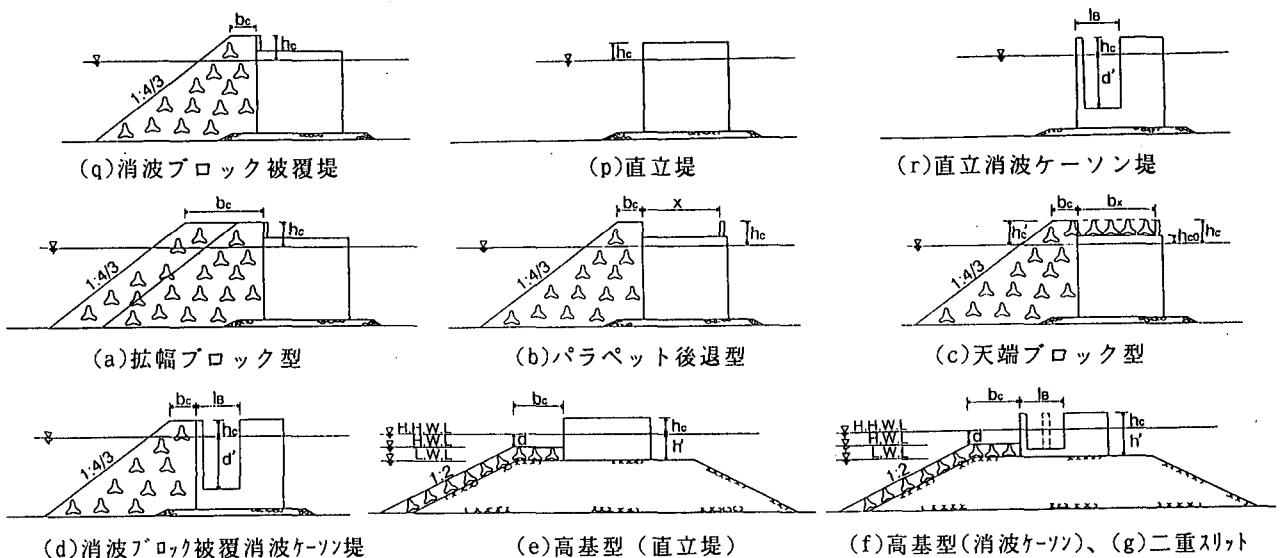


図-1 低天端型防波護岸断面

## 2. 低天端型防波護岸の案

図-1は、対象とした低天端護岸の断面を示すものである。(a)は消波ブロック被覆堤で消波ブロックを多く用いた拡幅ブロック型である。このようなこれまであるタイプに対して、消波ブロック被覆堤ではあるがケーソンの部分を改良したいいくつかの断面が低天端型護岸として考えられる。(b)はケーソンの天端パラペット部を後退させたものの、(c)はケーソン天端上にブロックを並べたものである。また、(d)は消波ブロック被覆堤のケーソンを直立消波ケーソンにし、二つの消波機能によって低天端化をはかろうとした新しい構造である。

さらに(e)、(f)、(g)は捨石マウンドが高く、高基(混成堤)型と呼ぶもので、H.W.L.程度までしか消波ブロッ

\* 運輸省港湾技術研究所 耐波研究室 横須賀市長瀬3-1-1 777750468-42-7846

クがない断面であり、背後に通常のケーソンと直立消波ケーソンがある場合である。通常の消波ブロック被覆堤のように、静水面上にブロックが高く積み上げられることによる景観上の問題を解決すると共に、ブロックの量を減らして経済性を向上させるものである。また、ブロックによる漁礁効果にも配慮できる新しい構造である。この構造は、高潮が予想されるところで、H. H. W. L. に対して設計する必要がある場合に有利であり、また、景観や海の生物環境を重視する場合に適している。ただし、(e)の直立壁がある場合には、H. H. W. L. 時には衝撃的な波力が発生し、堤体が不安定であり、また越波流量が大きくなる。(f)は、直立部に消波ケーソンを用いて耐波安定性向上と越波流量の低減をはかったものである。さらに(g)は、消波ケーソンの遊水室内にもう一枚のスリット壁を入れ、二重スリットケーソンにしたものである。なお、(e)の直立壁の場合は、パラペット天端まで消波工を設置しない従来からのタイプに似ているが、これはマウンドが高い直立堤であり、L. W. L. 時には被覆ブロックが水面上に現れるが、H. H. W. L. では水面下に没してしまう高基混成堤と呼ばれる構造である。

なお、これらの低天端型に対して、比較のために基本型と称する(p)直立堤、(q)消波ブロック被覆堤、(r)直立消波ケーソン堤についても検討している。消波ブロック被覆堤と直立消波ケーソンも直立堤に比べれば、すでに低天端型ではあるが、ここで言う低天端型とは、これらよりさらに低天端にできるものである。

### 3. 実験方法

#### (1) 実験水路及び実験断面

実験は、当所の小型造波水路（長さ35m、幅0.5m、高さ1m）に防波護岸の模型を設置して行っている。低天端型護岸の模型形状は、すでに図-1に示しているが、模型は、厚さ40cmの水平な砂地盤上に設けており、水深 $h$ は36cmで1/25の縮尺を仮定すれば9m、1/50の縮尺であれば18mとなる。本報告では、わかり易くするために、模型縮尺を1/25と仮定して、実験結果を現地量で示すことにする。なお、縮尺を1/50と考えれば、当然現地量の長さは2倍になり、時間は $2^{0.5}$ 倍、越波流量は $2^{1.5}$ 倍である。

表-1は、基本型及び低天端型の護岸の形状をとりまとめたものであり、基本型では、高天端( $h_c=14$ 、17cm)、中天端( $h_c=11$ cm)、低天端( $h_c=7.5$ cm)の3つの天端高さを検討しているが、低天端型では $h_c=7.5$ cmを実験の対象の中心とした。 $h_c=7.5$ cmは、縮尺1/25で1.875m、1/50で3.75mとかなり低い値である。

#### (2) 実験波及び計測方法

実験波は、周期1.4s(7s)と2.0s(10s)の規則波と不規則波を用いている。波高は水路の限界から規則波では周期2.0sでも18cm( $H/h=0.5$ )程度と碎波波高までには至っていない。不規則波のスペクトルは修正ブレットシュナイダー・光易型を目標としている。

実験では、越波流量の測定他に、規則波の場合の打ち上げ高さや不規則波の場合の反射率を測定している。打ち上げ高さは、基本的には波の実質部分を対象にしているが、飛沫が激しい場合にはその高さも同時に調べている。越波流量に関しては、越波流量が問題になるのはもちろんであるが、越波限界、すなわち天端からの打ち上げ高さが0の時の波高（打ち上げ限界波高 $H_v$ ）も重要である。

### 4. 越波流量の低減効果

#### 4.1 基本型の越波流量

まず最初に、基準となる消波ブロック被覆堤（天端ブロック2列並び）の越波流量について検討した。図-2は、横軸に波高をとって不規則波の越波流量をプロットしたものである。天端高さが1.875mで有義波高 $H_{1/3}=3$ m( $h_c/H_{1/3}=0.625$ )のとき、有義波周期 $T_{1/3}=10$ sでは、 $0.09\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 、 $T_{1/3}=7$ sでは、 $0.08\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 、とかなり大きい。しかしながら、天端が高くなり3.5m( $h_c/H_{1/3}=1.16$ )では $T_{1/3}=10$ sで $0.0024\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ と1/30以下になる。許容越波流量をたとえば $0.02\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ とすると $H_{1/3}=3$ mでは、必要な天端高さがほぼ3m必要であることになる。なお、合田の越波流量の算定図表<sup>1)</sup>から求められる算定値と実験結果は、ほぼ一致している。

同図には直立壁の場合の越波流量の測定結果も示しており、波高が小さいときは消波ブロック被覆堤の方が直立堤より小さくなっているが、波高が大きいために逆に消波ブロック被覆堤の方がやや大きくなる。さらに、同図には直立消波ケーソンの場合の実験結果も示している。実験では、波長が長いことと水深に比して波高が小さいことが、これらの理由と思われる。

表-1 実験条件（模型断面）

|                                                                                                                                                                            | 名 称                       | 形 状                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基本型                                                                                                                                                                        | (p) 直立堤                   | $h_c=7.5\text{cm}$                                                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                            | (q) 消波ブロック被覆堤             | $h_c=7.5\text{cm}(q-1)=11\text{cm}(q-2)=14\text{cm}(q-3)=17\text{cm}(q-4)$ $bc=12\text{cm}$                                                                                              |
|                                                                                                                                                                            | (r) 直立消波ケーソン堤             | $h_c=7.5\text{cm}$ $l_a=23.5\text{cm}$ $d'=33\text{cm}$ $\epsilon=0.32$                                                                                                                  |
| 低天端型                                                                                                                                                                       | (a) 拡幅ブロック型               | $h_c=7.5\text{cm}(a-1)=11\text{cm}(a-2)$ $bc=36\text{cm}$                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                            | (b) パラペット後退型              | $h_c=7.5\text{cm}(b-1)=11\text{cm}(b-2)$ $x=35.7\text{cm}$                                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                            | (c) 天端ブロック型               | $h_c=7.5\text{cm}$ $h_{co}=0\text{cm}(c-1)$ $h_{c'}=7.5\text{cm}$ $bc=12\text{cm}$ $bx=35.7\text{cm}$<br>$h_c=11\text{cm}$ $h_{co}=4\text{cm}$ $h_{c'}=11\text{cm}(c-2)=4\text{cm}(c-3)$ |
|                                                                                                                                                                            | (d) ブロック被覆消波ケーソン型         | $h_c=7.5\text{cm}$ $bc=12\text{cm}$ $d'=33\text{cm}(d-1)=10\text{cm}(d-2)=4\text{cm}(d-3)$<br>$l_a=23.5\text{cm}$ $\epsilon=0.32(d-1)=0.40(d-2)=0.39(d-3)$                               |
|                                                                                                                                                                            | (e) 高基型（直立壁）              | $h_c=7.5\text{cm}$ $h'=12\text{cm}$ $d=6\text{cm}$ $bc=24\text{cm}$                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                                            | (f) 高基型（消波ケーソン）<br>縦スリット  | $h_c=7.5\text{cm}$ $h'=12\text{cm}$ $d=6\text{cm}$ $bc=24\text{cm}$<br>$\epsilon=0.40$ $l_a=23.5\text{cm}$                                                                               |
|                                                                                                                                                                            | (g) 高基型（消波ケーソン）<br>二重スリット | $h_c=7.5\text{cm}$ $h'=12\text{cm}$ $d=6\text{cm}$ $bc=24\text{cm}$<br>$\epsilon=0.39$ $l_a=23.5\text{cm}$                                                                               |
| $h_c$ : 天端高さ $bc$ : ブロック天端幅 $l_a$ : スリット壁を含む遊水室幅 $x$ : パラペット後退距離 $\epsilon$ : スリット開口率<br>$bx$ : 天端ブロック幅 $h_{c'}$ : 天端ブロック型における前面ブロックの天端高さ $h_{co}$ : ケーソン天端高さ $d'$ : 遊水室深さ |                           |                                                                                                                                                                                          |

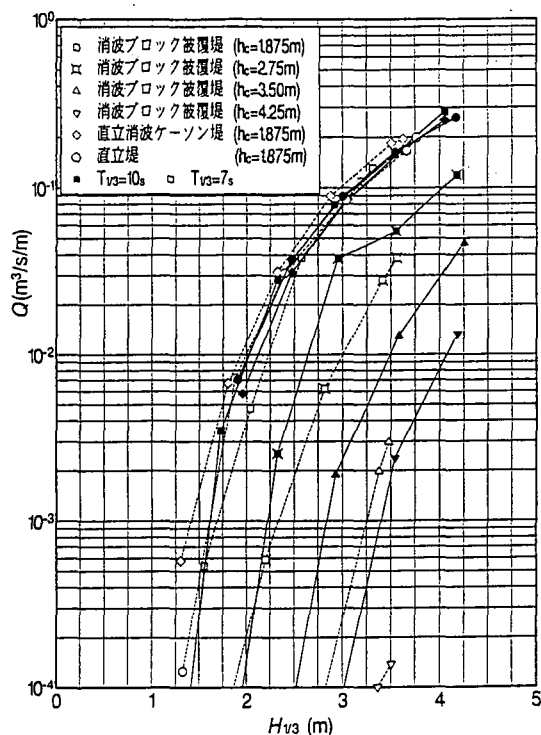


図-2 消波ブロック被覆堤、直立堤、消波ケーソン堤の越波流量（不規則波）

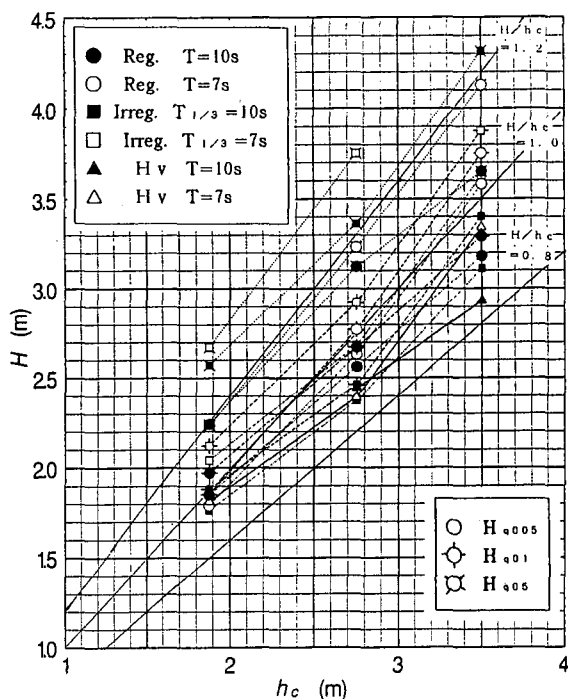


図-3 消波ブロック被覆堤の天端高さと基準越波流量時の波高

#### 4.2 基準越波流量時の波高と換算天端高係数の求め方

図-3は、基準越波流量を  $0.005$ 、 $0.01$ 、 $0.05 \text{ m}^3/\text{s/m}$  にとってそのときの波高をそれぞれ  $H_{0.005}$ 、 $H_{0.01}$ 、 $H_{0.05}$  として図にプロットしたものである。この図には、消波ブロック被覆堤の4つの天端高さについて、不規則波と規則波の実験結果を示している。この図からそれぞれの越波流量における波高と天端高さがわかる。たとえば  $0.01 \text{ m}^3/\text{s/m}$  で有義波周期が  $10 \text{ s}$  で波高が  $3 \text{ m}$  であれば、天端高さが  $3.2 \text{ m}$  となる。このとき  $H_{0.01}/h_c$  の値は  $0.94$  であるが、この値は波の周期によって変わり、また天端高さによっても変わっていることに留意する必要がある。なお、図には同様に打ち上げ限界波高  $H_v$  についても示している。

前掲図-1に示した各種の低天端型護岸構造の越波低減効果を定量的に示すために、換算天端高係数  $\beta^*$  を用いることとした。 $\beta^*$  は、それぞれの低天端護岸における越波流量と、同じ越波流量となる消波ブロック被覆堤の天端高さ  $(h_c)_{H_0}$  から求められる。すなわち、 $\beta^*$  は低天端型護岸の天端高さ  $h_c$  と  $(h_c)_{H_0}$  の比であり、具体的には、それぞれの低天端型護岸における基準越波流量に対する波高を実験から求め、図-3から消波ブロック被覆堤における対応する天端高さを求めている。

#### 4.3 低天端型（消波ブロック被覆堤の改良型）の越波流量

図-4は、消波ブロック被覆堤の改良型である拡幅ブロック型、パラペット後退型、天端ブロック型の越波流量の測定結果を示すものである。図には、参考のため同じ天端高さの通常の消波ブロック被覆堤の結果もあわせて示している。越波流量はパラペット後退型、そして拡幅ブロック型（6列並び）、天端ブロック型の順で小さくなるのがわかる。図-5は、これらの護岸構造の換算天端高係数を示すものである。図中には、それぞれの構造について規則波と不規則波の  $10 \text{ s}$  と  $7 \text{ s}$  の値が示しており、基準越波流量による違いも示している。

拡幅ブロック型では、 $0.57$  から  $0.64$ 、不規則波に対する平均値は  $0.61$  程度である。ブロックの天端並びを2列から6列にすることによってかなり低天端化がはかれることがわかる。合田ら<sup>2)</sup>や高山<sup>3)</sup>らの検討によっても、ほぼ同様の結果が得られている。

パラペット後退型については、2つの天端高さについての換算天端高係数が得られているが、天端高さが  $1.875 \text{ m}$  で不規則波の場合  $0.67$  程度になっている。天端が高い方がやや大きい、これは天端が高いときはすでに前面でのブロックの効果が大きく相対的にパラペット後退部の影響が小さいことによると思われる。実験での後退距離  $x$  は有義波高の  $3.3$  から  $4.5$  倍であるが、合田ら<sup>2)</sup>の直立壁でのパラペット後退型の結果では直立壁に対する換算天端高係数がこの条件では  $0.6$  となっており、実験結果はこれよりやや大きくなっており、直立壁の場合よりやや越波低減効果が小さいようである。今回の実験条件のように  $x/H_{1/3}$  が  $4$  以上では、合田の直立壁の実験結果でも、 $x$  の増加による低減効果の増加はそれほど顕著ではなく、 $x$  がこの範囲であれば、消波ブロック被覆堤のパラペット後退型の換算天端高係数は今回の実験結果の程度と思われる。

天端ブロック型では天端高さが  $1.875 \text{ m}$  と  $2.75 \text{ m}$  の2つを行っており、 $2.75 \text{ m}$  ではケーソン前面のブロックの天端

をケーソンの天端面まで下げたものも行っている。天端高さが1.875mでは、ケーソンの天端が静水面まで低くなっているが、パラペット後退型よりも、また拡幅ブロック型よりも越波低減効果が大きく、不規則波の換算天端高係数の平均は0.56と拡幅ブロック型よりさらに小さくなっている。天端が2.75mも、同じ天端高さのパラペット後退型より確実に換算天端高係数が小さくなっており、拡幅ブロック型に近づいている。なお、天端ブロックの幅 $b_x$ は前面のブロックの天端幅 $b_e$ の約3倍であるが、この距離の影響については今回は検討していない。ただし、この $b_x/b_e$ の値は、 $b_x$ をケーソンの幅と考えれば、一般的な値である。いずれにしても、天端上のブロックの効果はかなり大きく、拡幅ブロック型のように大量のブロックが必要でないことから、この構造が低天端化に有利と言えよう。なお、ケーソン前面のブロックをケーソン天端面まで下げることは有利ではないことがわかる。

換算天端高係数は、不規則波と規則波に対する値を示しているが、パラペット後退型も天端ブロック型も全体的に見ると不規則波の方が小さい。これは、後でも述べるように、これらの構造の越波流量は、ケーソン天端上の水位が大きく影響しており、規則波の場合より不規則波の場合の方が水位が低くなっており、そこで越波水をとらえる効果がより大きいと思われる。ただし、実際の波は、不規則波であり、低天端の効果は不規則波に対する換算天端高係数で評価するのがよいと思われる。また、これらの場合には、基準越波流量や波の周期による換算天端高係数の違いが少ないことが特徴である。

#### 4.4 低天端型（消波ブロック被覆消波ケーソン堤）の越波流量

消波ブロック被覆堤のケーソン部を直立消波ケーソンにすれば、二つの消波効果が期待される。図-6は、消波ブロック被覆消波ケーソン堤の不規則波の実験結果を示すものであり、通常の消波ブロック被覆堤よりかなり越波流量が小さく、拡幅ブロック型以下の越波流量になっていることがわかる。実験では、消波ケーソンの遊水室の深さ $d'$ を変えており、 $d'/h$ が0.92と深いものより0.28と浅い方が越波流量は小さくなることが興味深い。さらに、 $d'/h$ を0.11とかなり浅くしても0.28の場合に近い越波流量となっている。

図-7は、換算天端高係数を示すものであり、 $d'/h$ が0.28では、0.57程度と拡幅ブロックの0.61と比べてもかなり小さくなっていることがわかる。もちろんこれは、消波ブロックの消波効果に消波ケーソンの消波効果が合わさったためであるが、 $d'$ が浅いケースでは、特に遊水部における越波する水をとらえる効果が高いためと思われる。 $d'/h$ が0.92と深いケースでは、後で述べるように反射率が最も低いが、遊水室の水位変動は浅いケースよりかなり大きいために、換算天端高係数がやや大きくなっていると思われる。

こうした、消波ケーソンの効果は、遊水室の幅を広くすることによっても大きくなると考えられる。また、開口率によってもある程度変わることが考えられ、さらに検討が必要である。

なお、この消波ブロック被覆消波ケーソン堤の場合も、不規則波の換算天端高係数の方が小さく、比較的波の周期や基準越波流量による換算天端高係数の違いは少ないようである。

#### 4.5 高基型混成堤の越波流量

高基型で直立壁の場合は、波がマウンドのブロック上で砕波し、直立壁に衝突して飛沫が高く打ち上がる。このとき波は砕けるためにそのエネルギーはほとんど失われる。この消波効果と鉛直方向への水の動きから、越波流量は比較的少ないと思われる。さらに、直立壁を消波ケーソンにすると打ち上げも少なくなり越波流量もさらに減少する。

図-8は、高基堤の不規則波に対する越波流量の実験結果を示すものである。直立壁の高基堤の場合消波ブロックとほぼ同じ越波流量になっているが、よくみると波高が大きく越波流量が大きいところでは、直立壁の高基堤の方が小さくなり、波高が小さいところでは逆にになっている。すなわち、高基堤では、越波流量の波高に対する変化が穏やかである。この越波流量の傾向は、すでに図-2でも見たように通常の直立堤や直立消波ケーソンでも認められている。高基堤で消波ケーソンの場合でもその傾向は同様だが、高基堤の直立壁の場合よりも越波流量は少なくなっている。ただし、拡幅ブロック型までは至っていない。実験では、二重スリットの消波ケーソンの場合も測定を行っているが、この場合は、ほぼ拡幅ブロック型に近づく。

図-9は、高基堤の換算天端高係数を示すものである。他の場合と大きく異なることは、換算天端高係数が、条件によってかなりばらついていることである。すなわち、波高が大きく越波流量が大きい条件ほど越波低減効果が大きくなっている。これは一つには、すでに述べたように、波高に対する越波流量の変化の傾向が消波ブロック被覆堤と異なるためである。つまり、本来なら直立堤や直立消波ケーソン堤を基準にした換算天端高係数で示す必要があるが、今回の報告ではあくまで、消波ブロック被覆堤を基準にしているためにこうした結果となっている。高基堤で直立壁の場合、不規則波に対する換算天端高係数は、0.88-1.14であり、消波ケーソンでは、0.69-0.97である。また、二重スリットでは0.63-0.71であり、拡幅ブロックに匹敵する低天端効果になっている。

なお、今回の実験ではマウンドの前面水深は、 $d/h$ で0.16であり、前肩幅 $B_m(=b_c)$ は $B_m/h$ で0.66であり、マウンドの法勾配は1:2である。こうした条件は砕波に大きく影響するため越波流量にも影響すると思われる。また、消波ケーソンの幅 $l_b$ 等も越波流量を変えられると思われる。さらに検討が必要であるが、高基堤が消波ブロックの節約効果だけでなく低天端効果も大きいことが確かめられた。

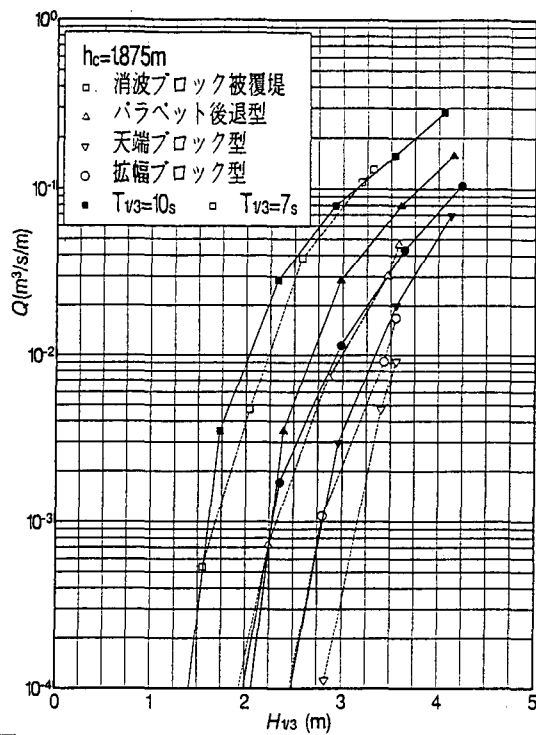


図-4 拡幅ブロック型、パラペット後退型、天端ブロック型の越波流量（不規則波、 $h_c=1.875m$ ）

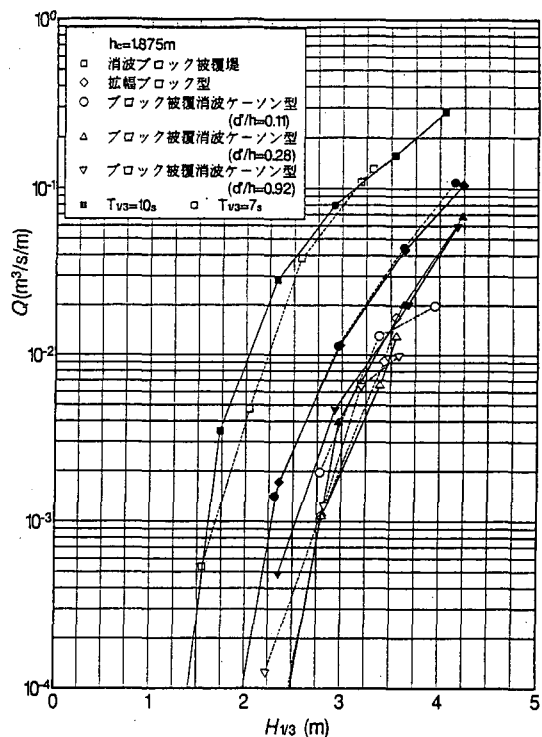


図-6 消波ブロック被覆消波ケーソン堤の越波流量（不規則波、 $h_c=1.875m$ ）

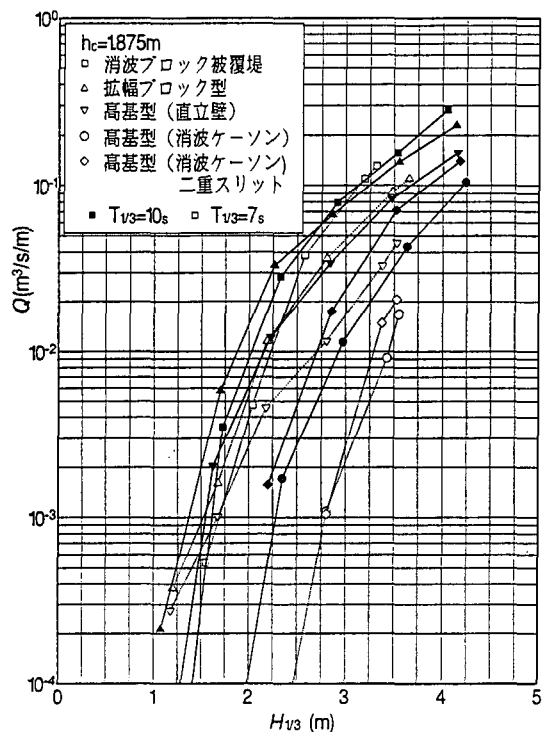


図-8 高基堤の越波流量（不規則波  $h_c=1.875m$ ）

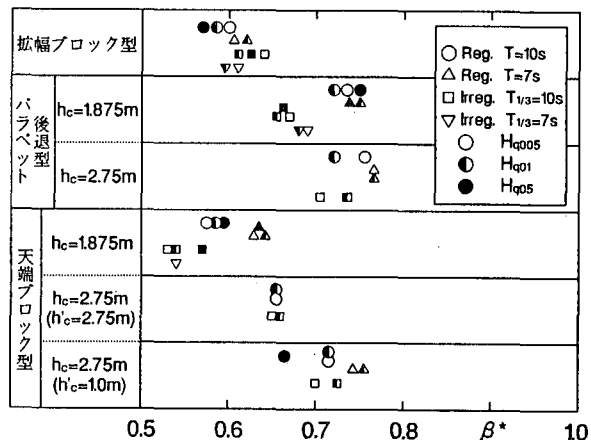


図-5 拡幅ブロック型、パラペット後退型、天端ブロック型の換算天端高係数

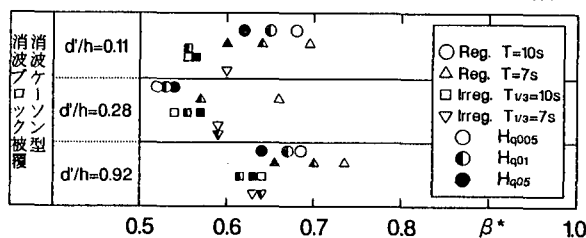


図-7 消波ブロック被覆消波ケーソン堤の換算天端高係数

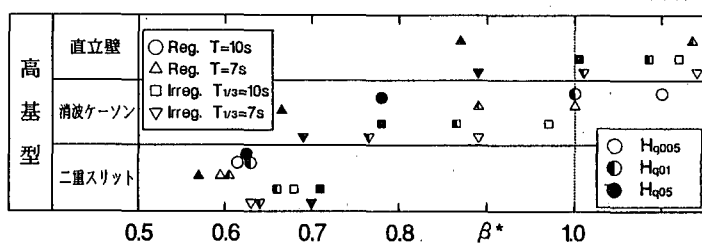


図-9 高基堤の換算天端高係数

#### 4.6 打ち上げ高さと越波流量

図-10は、規則波で $T=10s$ の場合の波高と打ち上げ高さの関係を調べたものである。消波ブロック被覆堤は、波高がある程度以上になると打ち上げ高さの増加が少なくなることがわかる。この傾向は、パラペット後退型や拡幅ブロック型の斜面構造でも認められる。これに対して、直立消波ケーソンや消波ブロック被覆消波ケーソン堤などの打ち上げ高さの測定位置が直立壁である場合には、逆に増加率が大きくなることもある。

なお、図において、打ち上げ高さが0の時の打ち上げ限界波高 $H_v$ であるが、この値は、ほぼ換算天端高係数の

大きい順になっているが、消波ブロック被覆消波ケーソンの $d'/h=0.11$ と $0.92$ では逆になっている。

また、高基堤の直立壁の場合の打ち上げについては、この図で打ち上げ高さの対象とした実質部分と対象としていない飛沫の部分との境が明確でないため、この図に示していないが、飛沫を含めると10倍以上の値となっている。ただし、高基堤でも消波ケーソンを用いるとかなり小さくなる。ただし、飛沫は前面のスリット壁の天端付近の不透過部に波面が衝突して大きく打ち上がる場合があり、こうした壁面を斜めにすることによって飛沫の発生を抑えることが可能と思われる。

図-11は、同様に打ち上げ高さと同越波流量の関係を見たものである。波高と打ち上げ高さとの関係で見たように斜面構造の場合と測定位置が直立壁の場合では傾向が異なり、斜面構造では打ち上げ高さに対して急激に越波流量が増え、直立型では打ち上げ高さに対する越波流量の変化は比較的穏やかになっている。

#### 4.7 反射率と換算天端高係数

図-12は、反射率が越波流量低減に及ぼす効果を調べるものであり、横軸に反射率をとって、規則波で $T=10$  sの場合の換算天端高係数をプロットしたものである。消波ブロック被覆堤の反射率は平均約0.55であるが、拡幅ブロック型は、0.4とかなり反射率が落ちるために換算天端高係数が0.6程度となる。しかしながら、パラペット後退型は、反射率は0.52程度とほとんど変わらないが換算天端高は0.7程度となる。

すなわち、反射率を小さくすることが越波を減らす重要な要因ではあるが、そのほかにも低減の要因があることが分かる。すでに見たように越波しそうな波の上部の水塊をとらえたり、この部分のエネルギーを減らしたり、上向きの運動エネルギーに変えることによって、越波の低減ははかれると思われる。この効果が顕著と思われるのがパラペット後退型や、天端ブロック型であり、高基型もこれに含まれる。ブロック被覆消波ケーソン堤は、基本的には反射率を下げることによって越波を低減する構造であるが、遊水室が浅いときには、反射率低減よりもそこで越波する水塊をとらえることによる越波低減も有効と思われる。

#### 5. まとめ

いくつかの低天端型の護岸構造について実験を行い、その越波流量の低減効果を換算天端高係数などで定量的に示した。それぞれの構造が、通常の消波ブロック被覆堤より天端をかなり低くできる。

特にケーソン上面にブロックを置いた天端ブロック型では、消波ブロックを天端幅で通常の3倍にした拡幅ブロック型より大きな越波低減効果（消波ブロック被覆堤を基準とした換算天端高係数が約0.56）があることがわかった。また、ブロック被覆直立消波ケーソン型は、遊水室がそれほど深くなくても、天端ブロック型と同程度の大きな越波低減効果がある。また、高基型は、消波ブロックを節約するだけでなく、大きな越波低減効果があることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 合田良實・岸良安治・神山 豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究、港研報告、第14巻4号、1975、pp.3-44.
- 2) 合田良實・岸良安治：不規則波による低天端型護岸の越波特性実験、港湾技研資料No. 242、1976、28p.
- 3) 高山知司・永井紀彦・西田一彦：各種消波工による越波流量の減少効果、港研報告、第21巻2号、1982、pp.151-206.
- 4) 谷本勝利他：各種ケーソン式混成堤の反射・越波及び波力特性に関する模型実験、港湾技研資料、No. 246、1976、38p.

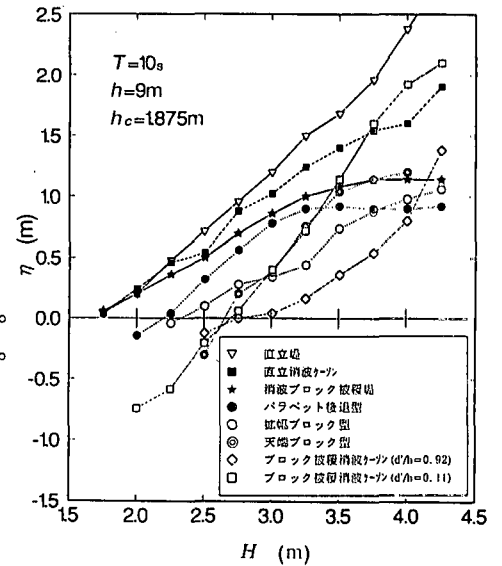


図-10 波高と打ち上げ高さ  
(規則波  $hc=1.875$  m)

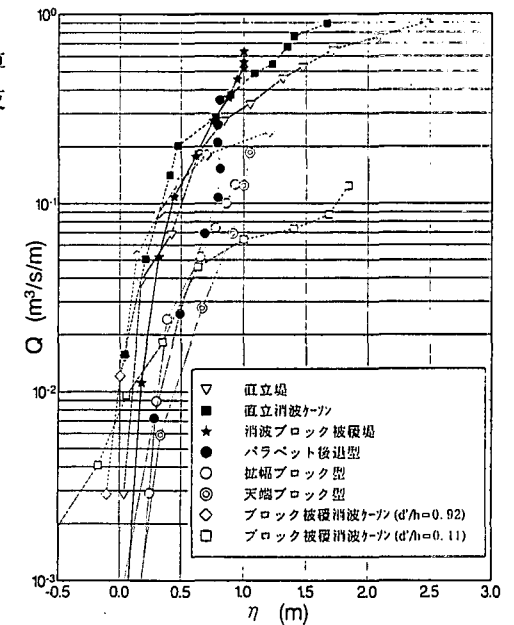


図-11 打ち上げ高さと同越波流量  
(規則波  $hc=1.875$  m)

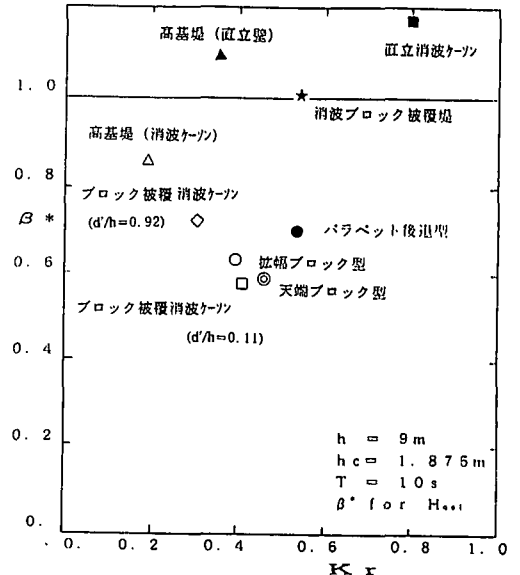


図-12 反射率と換算天端高係数  
(不規則波  $hc=1.875$  m)